

ГРАВИТАЦИЯ И КОСМОЛОГИЯ

УДК 523.11:524.827:539.12:524.854:530.11

Букалов А. В.

**УМЕНЬШЕНИЕ ЭНТРОПИИ ПОТОКОВ ГАЛАКТИК
И ЭНТРОПИИ ВСЕЛЕННОЙ В ЦЕЛОМ
ПРИ ДОМИНИРОВАНИИ ТЕМНОЙ ЭНЕРГИИ**

*Центр физических и космических исследований, Международный институт соционики,
ул.Мельникова, 12, г.Киев-50, 04050, Украина. e-mail: bukalov.physics@socionic.info*

Существование Хаббловского потока разбегания галактик в условиях доминирования плотности темной энергии, энергии вакуума, приводит к уменьшению гравитационной энтропии скоплений галактик, уменьшая гравитационную энтропию Вселенной в целом. Глобальное доминирование темной энергии приводит к уменьшению энтропии Вселенной в пределах космического горизонта событий.

Ключевые слова: Хаббловский поток, движение галактик, скопление галактик, темная энергия, энтропия Вселенной, информация Вселенной.

PACS numbers: 01.10.Fv**1. Введение**

Доминирование темной энергии или энергии вакуума во Вселенной открыто в 1998 г. [18]. По данным коллаборации PLANK плотность темной энергии составляет $\Omega_{DE} \approx 0,68$ [19]. Доминирование темной энергии в современную эпоху приводит к доминированию антитяготения над тяготением в космологических масштабах.

И.Д. Караченцев [2, 4, 16, 17] и А.Д. Чернин [5–13, 20], изучая движения галактик в скоплениях, показали, что эффекты антигравитации проявляются не только в космических масштабах, но и в масштабах скоплений галактик, например — Местной Группы, включающей в себя нашу Галактику (Млечный Путь), галактику Андромеда и несколько десятков других, меньших галактик [2–13, 16–17, 20].

В силу того, что давление темной энергии, вероятно — энергии вакуума, отрицательно $\rho_v c^2 = -P_v$, эффективная результирующая гравитационная плотность отрицательна:

$$\rho_v^{eff} = \rho_v + 3P_v / c^2 = -2\rho_v < 0. \quad (1)$$

В нерелятивистском случае сила тяготения описывается известным законом Ньютона:

$$F = -\frac{GMm}{R^2}. \quad (2)$$

Ускорение тела массой m , свободно падающего в поле тяготения тела массой M :

$$g = -\frac{GM}{R^2}. \quad (3)$$

Антитяготение темной энергии дает ускорение

$$a = \frac{c^2}{3} \Lambda R, \quad (4)$$

которое линейно зависит от расстояния. Результирующее ускорение

$$\ddot{a} = g + a = -\frac{GM}{R^2} + \frac{c^2}{3} \Lambda R. \quad (5)$$

2. Разбегание галактик и уменьшение гравитационной энтропии

Наблюдения и моделирование показали, что на расстояниях 1–3 МПК от центра гравитационно связанной Местной Группы галактик наблюдается местный поток разбегания карликовых галактик. Скорости этих галактик пропорциональны расстоянию от центра. А.Д. Чернин с соавт. [5, 6] показали, что такие потоки, наблюдаемые и в других скоплениях, в

различных масштабах, формируются под воздействием темной энергии. Так, для Местной Группы зона нулевого тяготения, в которой уравнивается сила гравитации притяжения и сила антитяготения, составляет $R_{ZG} \approx 1,3 \div 1,4$ МПК. Поэтому при $R > R_{ZG}$ начинается поток разбегания галактик. А.Д. Чернин с соавторами исследовали поведение потоков галактик, построили диаграммы на основании экспериментальных данных и численного моделирования и показали, что фазовые траектории местного потока стремятся к фазовому аттрактору $V = H_x R$, то есть подчиняются закону Хаббла. При этом $H_x = 8\pi G \rho_x / 3^{1/2}$ определяется локальной плотностью темной энергии [6].

Из экспериментальной диаграммы скоростей галактик, полученной И.Д. Караченцевым и его сотрудниками [17], мы можем оценить, что разброс собственных скоростей галактик при $R < R_{ZG}$ достигает $\Delta V_{\max} = \pm 150$ км/с, средняя $\langle \Delta V \rangle = \pm 70$ км/с, в то время как при $R > R_{ZG}$ разброс скоростей относительно теоретической скорости хаббловского потока разбегания составляет в среднем около $\langle \Delta V \rangle = 10 \div 15$ км/с. Таким образом, антитяготение темной энергии, или энергии вакуума, значительно уменьшает дисперсию скоростей галактик.

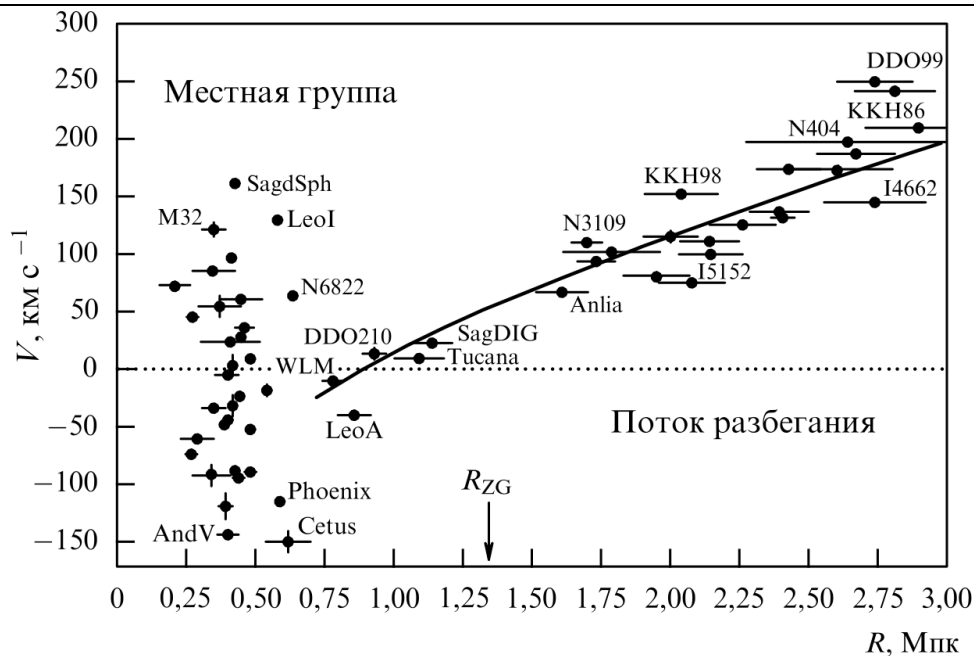


Рис. 1. Диаграмма скорость–расстояние для Местной группы галактик и потока вокруг неё. Каждая из точек соответствует галактике с измеренными значениями расстояния и скорости [17] в системе отсчёта, связанной с центром Местной группы. Скорости считаются положительными, если они направлены от центра группы. В области группы ($R < R_{ZG}$) преобладает тяготение, вне группы ($R > R_{ZG}$) в области потока преобладает антитяготение. (Цит. по [6, 17]).

Исходя из этих результатов, рассмотрим поток галактик как аналог «газа». Такое рассмотрение показывает, что антитяготение охлаждает «газ галактик», приводя к формированию все более упорядоченного потока. Вводя аналог температуры для газа галактик

$$\frac{3}{2} k_B T \approx \frac{m \langle \bar{V}^2 \rangle}{2},$$

и, оценивая значения разброса средних скоростей $\Delta V = V_i - V_0 \approx 70$ км/с для галактик в скоплении при $R < R_{ZG}$ и $\Delta V = 10$ км/с вне скопления ($R > R_{ZG}$), мы можем оценить изменение энтропии такого газа. При этом, в силу гравитационного принципа эквивалентности, массы галактик как пробных тел не учитываются.

В выделенных областях 1 и 2 одинакового объема — гравитационной связанной ($R < R_{ZG}$) и с доминированием антитяготения ($R > R_{ZG}$) энтропии различны: $S_2 > S_1$.

Разница энтропий в областях с $R < R_{ZG}$ и $R > R_{ZG}$ отрицательна:

$$\Delta S = S_1 - S_2 = \ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \frac{(V_2)^2}{(V_1)^2} \approx 2 \ln \frac{15}{70} \approx -3.$$

Принимая во внимание $3k_B T_0 / 2 = m \langle V_0 \rangle^2 / 2$, где $\langle V_0 \rangle$ — средняя скорость в окрестности нулевого радиуса тяготения R_{ZG} ,

$$S_1 = \ln \frac{T_1}{T_0} = \ln \frac{\langle V_1 \rangle^2}{\langle V_0 \rangle^2} > 0, \quad \langle V_1 \rangle > \langle V_0 \rangle \quad (6)$$

$$S_2 = \ln \frac{T_2}{T_0} = \ln \frac{\langle V_2 \rangle^2}{\langle V_0 \rangle^2} < 0, \quad \langle V_2 \rangle < \langle V_0 \rangle \quad (7)$$

В самом деле, гравитационно связанная система, такая как, группа или скопление галактик, обладает большей гравитационной энтропией, чем галактики, находящиеся вне гравитационного скопления и движущиеся в антитяготеющей среде. При этом «испарение» галактик из гравитационно связанного скопления уменьшает его гравитационную энтропию. Таким образом, область антитяготения обуславливает уменьшение энтропии «газа галактик» на различных уровнях иерархии — в скоплениях и сверхскоплениях.

Исходя из результатов численного моделирования потоков разбегания, в которых были получены минимальная и максимальная скорости потока $V_{\min}(R) = H_x R (1 + 2x^{-3} - 3x^{-2})^{1/2}$, $V_p(x) = H_x R (1 + x^{-1/2})$ [6], можем записать в общем виде выражение для энтропии потока разбегания:

$$S = \ln \frac{(V_{\max} - V_{\min})^2}{(H_x R)^2}, \quad (8)$$

и для разницы энтропий

$$\Delta S = \ln \frac{(V_{1\max} - V_{1\min})^2}{(V_{2\max} - V_{2\min})^2}. \quad (9)$$

Мы получили выражение для энтропии потока галактик по аналогии с газом. Вместе с тем мы можем рассмотреть и более общее выражение для оценки гравитационной энтропии такой системы. Выразим ускорения из выражения (5) как эквивалентные температуры вакуума Унру для ускоренно движущегося тела, например — галактики:

$$\frac{\hbar \ddot{a}}{2\pi c k_B} = \frac{\hbar g}{2\pi c k_B} + \frac{\hbar a}{2\pi c k_B} = -\frac{\hbar G M}{2\pi c k_B R^2} + \frac{\hbar c^2}{2\pi c k_B \cdot 3} \Lambda_R, \quad (10)$$

или, принимая положительность температуры T_G , соответствующей гравитационному ускорению g , по аналогии с температурой черной дыры, мы получаем отрицательное значение температуры вакуума T_v , которая соответствует антигравитационному ускорению:

$$\Delta k_B T = k_B T_G - k_B T_v.$$

Соответствующая энтропия может быть записана в виде:

$$\Delta S = S_G - S_v = \Delta k_B T \cdot X = k_B T_G - k_B T_v \cdot X \quad (11)$$

где, например, $X = \frac{4\pi R^2}{4L_p^2} = \frac{\pi R^2}{L_p^2}$, по аналогии с выражением для черной дыры, с той разницей,

что вместо гравитационного радиуса используется R — расстояние от центра тяготеющих масс, в данном случае — скопления галактик.

Таким образом, энтропия S_v отрицательна, а это означает, что воздействию вакуума можно приписать негативную энтропию, или информацию, то есть способность к информационному организующему упорядочению. Это и объясняет переход галактик к упорядоченному движению при $R > R_{ZG}$.

Однако и в масштабах Вселенной наблюдается аналогичный закон ускорения разбега-

ния сверхскоплений галактик под воздействием темной энергии [6]. Это означает, что аналогичным образом уменьшается гравитационная энтропия и на уровне взаимодействия сверхскоплений галактик. Следовательно, доминирование темной энергии, или энергии вакуума, в космологических масштабах приводит к упорядоченному движению галактик на уровне скоплений и сверхскоплений, уменьшая гравитационную энтропию Вселенной в целом, как было показано автором ранее [2]. Поэтому во Вселенной, которая ускоренно расширяется под воздействием антигравитации вакуума, гравитационная энтропия, обусловленная вкладом гравитирующего вещества, должна уменьшаться с течением времени. Так, в современной Вселенной в радиусе Хаббла находится порядка 10^9 скоплений галактик, подобных Местной Группе. При продолжении ускоренного расширения Вселенной в ней останется только Локальная Группа. Все остальные галактики будут находиться вне горизонта событий, который стремится к $H^{-1} = r_\Lambda$ — радиусу мира де Ситтера. Таким образом гравитационная энтропия, связанная со сверхскоплениями галактик уменьшится в 10^9 раз.

Переходя к космологическим масштабам и уравнению Фридмана:

$$\ddot{a}_U = -\frac{4\pi}{3} G (\rho_M + 3p_M) a + (\rho_V + 3p_V) a, \quad (12)$$

где a — масштабный фактор, из $p_M = 0$, $\rho_V = -p_V$ получаем [2]

$$\ddot{a}_U = -\frac{4\pi G}{3} (\rho_M - 2p_V) a. \quad (13)$$

При $a \approx R_H \approx 1,36 \cdot 10^{26}$ м, $\Omega_M \approx 0,318$, $\Omega_V = 0,682$, $\Omega_r \approx 5 \cdot 10^{-4}$, $z = 0$

$$\ddot{a}_U = -\frac{4\pi}{3} G_N \rho_c (0,318(1+z)^3 + \Omega_r(1+z)^4 - 2 \cdot 0,682) \cdot R_H = \frac{4\pi}{3} G_N \rho_c \cdot 1,046a = 3,46 \cdot 10^{-10} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}. \quad (14)$$

$$\Delta \ddot{a}_V = g - 2\ddot{a}_V \quad (15)$$

$$k_B \Delta T = k_B T_g - 2k_B T_V = -1,046 k_B T_H = -k_B T_U \quad (16)$$

$$T_U = \frac{\hbar \ddot{a}_U}{2\pi c k_B} = 1,4 \cdot 10^{-30} \text{ К}. \quad (17)$$

Фактически, темная энергия, или вакуум с отрицательным давлением и уравнением состояния $\rho_V c^2 = -P_V$, поглощает тепловое излучение детектора, движущегося с ускорением. В качестве детектора может рассматриваться любой материальный объект с соответствующими уровнями энергии. Отсюда следует, что в эпоху доминирования темной энергии происходит рост упорядоченности всех структур Вселенной и уменьшение их энтропии:

$$S_U = -k_B T_U \pi \frac{R_H^2}{L_p^2} \approx -2,2 \cdot 10^{122} k_B T_U = -4,3 \cdot 10^{69} \text{ Дж}, \quad (18)$$

$$\frac{\partial S_U}{\partial t} \approx \frac{S_U}{t_U} \approx -2,4 \cdot 10^{52} \text{ Дж/с}. \quad (19)$$

Таким образом, при $z < 0,745$, $\partial S_U / \partial t < 0$.

Заметим, что согласно Хокингу и другим авторам [15], пустая вакуумная Вселенная де Ситтера для ускоренного наблюдателя должна иметь такую же энтропию, как и черная дыра тех же размеров. Поэтому в оценке общей энтропии Вселенной, предложенной в [14], предполагается, что основной вклад в энтропию Вселенной вносит энтропия горизонта событий, вычисляемая по формуле Хокинга для черной дыры:

$$S_{CEH} = \frac{k_B c^3}{G_N \hbar} \frac{A}{4} = \frac{k_B c^3}{G_N \hbar} \pi R_{CEH}^2 \approx 2,6 \cdot 10^{122} k_B, \quad (20)$$

где R_{CEH} — радиус космического горизонта событий. Авторы [14] считают, что в условиях доминирования темной энергии энтропия Вселенной, ее радиус и объем монотонно возрастают, асимптотически приближаясь к постоянным значениям.

Однако это не так. Неправомерно отождествлять энтропию внутреннего космического горизонта событий Вселенной и наружного горизонта событий черной дыры. Они имеют различные знаки. Это легко понять, если рассматривать Вселенную, например, как аналог белой

дыры с обращением во времени гравитационного коллапса. Поэтому можно говорить не об энтропии, а об информации на космическом горизонте событий и $I_{CEH} = -S_{CEH} \approx -2,6 \cdot 10^{122} k_B$. На нем содержится максимальная информация о Вселенной. Из полученных нами результатов следует, что вакуум является резервуаром негэнтропии, или упорядоченности, что проявляется в период его доминирования. Поэтому вакуум может индуцировать увеличение упорядоченности структур Вселенной. Такое воздействие представляет собой **макроскопический, космологический квантовый эффект**.

3. Заключение

1. Существование Хаббловского потока разбегания галактик в условиях доминирования плотности темной энергии, энергии вакуума, приводит к уменьшению гравитационной энтропии скоплений галактик, уменьшая гравитационную энтропию Вселенной в целом.
2. При постепенном исчезновении черных дыр с их энтропией и излучения, а также и самих галактик за космическим горизонтом событий, энтропия Вселенной будет только убывать, а негэнтропия, или степень информационной упорядоченности, будет возрастать, асимптотически приближаясь к постоянному значению.

Л и т е р а т у р а :

1. Бирелл Н., Девис П. Квантовые поля в искривленном пространстве-времени. — М.: Мир, 1984. — 356 с.
2. Букалов А.В. Темная энергия и энтропия Вселенной // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2012. — № 3. — С. 31–33.
3. Караченцев И.Д., Кашибадзе О.Г. *Astrofizika* **49** 5 (2006) [Karachentsev I.D., Kashlbadze O.G. *Astrophysics* **49** 3 (2006)].
4. Караченцев И.Д., Караченцева В.Е., Хухтмайер В.К. Письма в Астрон. журн. **33** 577 (2007) [Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Huchtmeier W.K. *Astron. Lett.* **33** 512 (2007)].
5. Чернин А.Д. и др. Астрон. журн. **89** 723 (2012) [Chernin A.D. et al. *Astron. Rep.* **56** 653 (2012)].
6. Чернин А.Д. УФН **183** 741–747 (2013).
7. Bisnovatyi-Kogan G.S., Chernin A.D. *Astrophys. Space Sci.* **338** 337 (2012).
8. Chernin A., Teerikorpi P., Baryshev Yu. *Adv. Space Res.* **31** 459 (2003); astro-ph/0012021.
9. Chernin A.D. et al. *Astron. Astrophys.* **467** 933 (2007).
10. Chernin A.D. et al. *Astron. Astrophys.* **507** 1271 (2009).
11. Chernin A.D. et al. *Astron. Astrophys.* **539** 4 (2012).
12. Chernin A.D. et al. *Astron. Astrophys.* **553** 101 (2013).
13. Chernin A.D. et al. *Astron. Astrophys. Trans.* **26** 275 (2007).
14. Egan C.A., Lineweaver C.H. A Larger Estimate of the Entropy of the Universe // *Astrophys. J.* **710**, 1825 (2010). — [arXiv:0909.3983](https://arxiv.org/abs/0909.3983) [astro-ph.CO].
15. Gibbons G. W., Hawking S.W. *Phys. Rev. D*, **15**, 2738 (1977).
16. Karachentsev I.D. *Astron. J.* 129 178 (2005).
17. Karachentsev I.D. et al. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **393** 1265 (2009).
18. Perlmutter S. et al. *Astrophys. J.* **517** 565 (1999).
19. Riess A.G. et al. *Astron. J.* **116** 1009 (1998).
20. Teerikorpi P., Chernin A.D. *Astron. Astrophys.* **516** A93 (2010).

Статья поступила в редакцию 02.05.2013 г.

Bukalov A.V.

Decrease in entropy flows of galaxies and entropy of the Universe as a whole under the dominance of dark energy

The existence of the Hubble flow recession of galaxies in terms of dominance of dark energy density, vacuum energy, reduces the gravitational entropy of clusters of galaxies, reducing the gravitational entropy of the Universe as a whole. Global dominance of dark energy leads to a decrease in entropy of the Universe within the cosmic event horizon.

Keywords: Hubble flow, movement of galaxies, clusters of galaxies, dark energy, entropy of the Universe, the Universe information.